

Исторические обзоры
Historical Reviews

DOI: 10.31857/S0205960625010084

EDN: CNMPEW

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ ОТ РАДИАЦИИ В КОСМОСЕ В РОССИИ И МИРЕ В XX – НАЧАЛЕ XXI в. *

КРИЧЕВСКИЙ Сергей Владимирович – *Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН; Россия, 125315, Москва, ул. Балтийская, д. 14; эл. почта: krichevsky@ihst.ru*

© С. В. Кричевский

В статье рассмотрена история технологий защиты людей от радиации в космосе, развивавшихся в России и мире в XX – начале XXI в. Проанализированы исторические источники по данной теме, предложена общая классификация технологий защиты от радиации и периодизация их развития. Всего рассмотрены около 100 технологий защиты, при этом более подробно проанализированы 20 важных примеров, отражающих историю и свойства технологий защиты, процесс их эволюции. Отмечено, что решение проблемы защиты людей от радиации в космосе, внедрение новых технологий шло и идет медленно. Преобладает пассивная физическая защита экранированием (около 70 % технологий), но развиваются и новые активные физические и биологические технологии, практикуется сочетание различных технологий защиты. Отмечено, что знания и опыт создания и применения технологий защиты людей от радиации в космосе имеют важный «обратный» эффект и могут использоваться для защиты здоровья и жизни людей на Земле.

Ключевые слова: безопасность, защита, история, космос, проект, радиация, риск, технология, человек.

Статья поступила в редакцию 31 июля 2023 г.

Принято к печати 24 декабря 2024 г.

* Исследование выполнено по плану НИР ИИЕТ РАН в 2022–2023 гг.

A BRIEF HISTORY OF TECHNOLOGIES FOR PROTECTING HUMANS FROM RADIATION IN SPACE IN RUSSIA AND GLOBALLY IN THE 20TH – EARLY 21ST CENTURY

KRICHEVSKY Sergei Vladimirovich – S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, Russian Academy of Sciences; Ul. Baltiyskaya, 14, Moscow, 125315, Russia; E-mail: krichevsky@ihst.ru

© S. V. Krichevsky

Abstract: The article reviews the history of technologies for radiation protection in space that evolved in Russia and globally in the 20th – early 21st century. We have analyzed the relevant historical sources and proposed a general classification of radiation protection technologies as well as a periodization of their evolution. About 100 protection technologies were reviewed and 20 significant cases that reflect the history and characteristics of protection technologies and the process of their evolution were analyzed in more detail. It is noted that the process of finding solution to the problem of protecting people from radiation in space and adoption of new technologies was, and remains, slow. While the prevalent type of protection is physical shielding (about 70 % of technologies), new active physical and biological technologies are also being developed and the combinations of different protection technologies are practiced too. It is noted that the knowledge and experience in creating and applying technologies to protect people from radiation in space possess an important “reverse” effect and may be used to protect people’s health and life on Earth too.

Keywords: safety, protection, history, space, project, radiation, risk, technology, human.

For citation: Krichevsky, S. V. (2025) Kratkaia istoriia tekhnologii zashchity liudei ot radiatsii v kosmose v Rossii i mire v XX – nachale XXI v. [A Brief History of Technologies for Protecting Humans from Radiation in Space in Russia and Globally in the 20th – Early 21st Century], *Voprosy istorii estestvoznaniia i tekhniki*, vol. 46, no. 1, pp. 146–165, DOI: 10.31857/S0205960625010084, EDN: CNMPEW.

Введение

Цель настоящего исследования – изучение, систематизация и описание истории технологий защиты людей от радиации в космосе в России и мире в XX – начале XXI в. В данной постановке и в таком объеме эта тема рассматривается впервые, аналоги в России и мире не обнаружены: парадоксально, но история технологий защиты людей от радиации в космосе до этого не была систематизирована и опубликована.

При написании статьи были использованы материалы исследований, докладов и публикаций автора 2022–2023 гг.; первая публикация была в виде монографии ¹. 25 января 2023 г. сделано первое краткое сообще-

¹ Кривевский С. В. Освоение космоса человеком: идеи, проекты, технологии экспансии. История и перспективы. 2-е изд. М.: ЛЕНАНД, 2022. Глава 9: Защита людей от радиации в космосе. С. 227–240.

ние на XLVII Академических чтениях по космонавтике в Москве в МГТУ им. Н. Э. Баумана ². 25 мая 2023 г. был доклад на Годичной научной конференции ИИЕТ РАН, краткий текст опубликован в сборнике ³.

Проблема защиты людей от радиации в космосе обусловлена природой и свойствами самой радиации, а также природой, свойствами, особенностями и ограничениями человека и техники, которые проявляются под воздействием комплекса факторов в космических полетах и в виде отдаленных последствий для жизни и здоровья людей. Эта сложная проблема охватывает множество рисков и аспектов, имеет большую и насыщенную историю ее исследований и решений в науке и практике.

Основное внимание в статье будет уделено технологиям как способам и средствам защиты от радиации ⁴.

Методологические основания, понятия и определения

В исследовании применены исторический, системный, междисциплинарный и др. подходы и методы. Объектами исследования являются идеи, технологии, патенты, техника, проекты, знания и опыт защиты людей от радиации в космосе в их историческом развитии.

Кратко опишем методологические основания и необходимые понятия и определения.

История технологий защиты людей от радиации в космосе — это описание и систематизация соответствующих идей, технологий, патентов, проектов, знаний и опыта в процессе их эволюции.

Технологии — это «способы достижения целей» ⁵ По моему мнению, это определение одно из лучших и универсальных.

В данной статье понятие «технологии» используется в дискурсе истории науки и техники как универсальное и обобщающее и как конкретное, охватывающее искусственные «технические» технологии защиты от воздействий и последствий радиации в космосе, включая методы, способы, меры снижения рисков для здоровья и жизни человека, обеспечения радиационной

² Кричевский С. В. Защита людей от радиации в космосе: краткая история идей, технологий, проектов в России и мире // XLVII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С. П. Королева и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства (Москва, 24–27 января 2023 года): сборник тезисов: в 4 т. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. Т. 1. С. 24–25.

³ См.: Кричевский С. В. Проблема защиты людей от радиации в космосе: эволюция идей, проектов, технологий в XX–XXI веках в России и мире // Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН. Годичная научная конференция, 2023 / Гл. ред. Р. А. Фандо, отв. ред. Ю. М. Батулин, Е. В. Минина. М.: ИИЕТ РАН, 2023. С. 144–147.

⁴ См.: Григорьев Ю. Г., Ушаков И. Б., Красавин Е. А. Давыдов Б. И., Шафиркин А. В. Космическая радиобиология за 55 лет (к 50-летию ГНЦ РФ — ИМБП РАН). М.: Экономика, 2013; Ушаков И. Б. Космос. Радиация. Человек (радиационный барьер в межпланетных полетах). М.: Научная книга, 2021.

⁵ Лем С. Сумма технологии. М.: Мир, 1968. С. 23.

безопасности, безопасности космических полетов и повышения качества жизни людей вне Земли.

Идея – это прообраз, замысел новой технологии, патента, проекта, объекта техники.

Техника – искусственные средства человеческой деятельности.

Существуют две актуальные и взаимосвязанные сложные научные проблемы: 1) проблема радиации в космосе и 2) проблема защиты людей от радиации в космосе. Они являются важной частью более крупной и общей проблемы – 3) исследования, освоения, использования, колонизации космоса человеком и человечеством, экспансии за пределы Земли ⁶.

Проблема радиации в космосе чрезвычайно важная и сложная, что обусловлено природой и свойствами радиации, ее воздействиями на людей и технику. Аспекты проблемы радиации в космосе изложены во многих публикациях ⁷, но не являются предметом исследования и данной статьи и используются в тексте в качестве необходимой информации.

Мы сосредоточимся на *проблеме защиты людей от радиации в космосе* с выделением и более подробным рассмотрением технологических и историко-технических аспектов.

Приведем ряд основных понятий и определений, необходимых для понимания текста.

Защита людей от радиации в космосе – комплекс технологий, способов, специальных мер для обеспечения радиационной безопасности, снижения уровня радиационных рисков от опасных воздействий и последствий излучений в космическом полете во время жизни людей вне Земли.

Существует три основных стратегии решения проблемы защиты людей от радиации в космосе, причем они реализуются в сочетании:

Стратегия 1. Создавать и применять защиту, в идеале и пределе – «абсолютную», полную защиту.

Стратегия 2. Отбор и подготовка людей для полетов в космос.

Стратегия 3. Медико-биологическая коррекция ⁸, трансформация, эволюция человека.

⁶ См.: *Кричевский*. Освоение космоса человеком...

⁷ См.: *Космическая биология и медицина*. В 5 т. / Ред. О. Г. Газенко, А. И. Григорьев, А. Е. Никогосян, С. Р. Молер. М.: Наука; Вашингтон: Американский институт авионавтики и астронавтики, 1994–2009; *Адамович Б. А., Горшенин В. А.* Жизнь вне Земли. М.: АО «РАУ-университет»; Межгосударственный финансово-промышленный концерн «Технология-индустрия», 1997; *Шибанов Г. П.* Обитаемость космоса и безопасность пребывания в нем человека. М.: Машиностроение, 2007; *Григорьев, Ушаков, Красавин, Давыдов, Шафиркин*. Космическая радиобиология за 55 лет...; *Ушаков*. Космос. Радиация. Человек...

⁸ В качестве примера приведем описание возможности такой коррекции. В. А. Шуршаков писал: «Тут возникает мысль, что человека можно “доработать” для полета в космос, например заменить ему хрусталик глаза на искусственный. Американские специалисты заметили, что чем дольше летал астронавт, тем больше у него возникает очагов катаракты» (цит. по: *Синева М.* Почему на Марсе можно побывать только раз в жизни // <https://tass.ru/kosmos/6761162/amp>).

Основные варианты (направления, охватывающие соответствующие меры, способы решения проблемы защиты людей от радиации в космосе) взаимодополнительны и реализуются в комплексе:

Вариант 1. Мониторинг, прогнозирование опасных событий.

Вариант 2. Нормирование, ограничение рисков, воздействий, последствий.

Вариант 3. Отбор «радиостойких» людей, их подготовка с учетом аспектов радиации, особенно для длительных полетов в космос.

Вариант 4. Создание и применение специальных технологий, средств защиты от радиации.

Вариант 5. Повышение радиорезистентности (медико-биологическая коррекция и др.).

Вариант 6. Биологическая, технологическая трансформация человека в процессе эволюции⁹.

Сверх того, есть и альтернативный, «нечеловеческий», вариант 7 – с полным «обнулением» проблемы: не летать в космос и не жить там, заменить человека в космосе киборгами, роботами и т. д. Но это за пределами темы и сути статьи.

В данном историко-техническом исследовании основное внимание было уделено варианту 4, т. е. технологиям, средствам защиты от радиации, что более всего соответствует стратегии 1.

Радиационная безопасность экипажа космического аппарата (КА) в космическом полете – «безопасность экипажа... по отношению к радиационному воздействию в период его профессиональной деятельности»¹⁰.

Радиационный риск экипажа КА в космическом полете – «риск экипажа КА, связанный с радиационным воздействием на экипаж в космическом полете»¹¹.

Эффективность радиационной защиты – «отношение прогнозируемого уровня радиационного риска экипажа внутри конкретного КА к прогнозируемому уровню радиационного риска экипажа вне КА»¹².

Радиорезистентность – устойчивость биологических объектов к ионизирующим излучениям.

Физическая защита (экранирование):

1. Пассивная защита – экранирование природным и / или искусственным веществом: внешнее и внутреннее экранирование, защитный материал, вещество, многослойное покрытие КА, кораблей, станций, кают экипажа, скафандров, одежды людей, баз на Луне, Марсе и др.;

⁹ См.: Григорьев, Ушаков, Красавин, Давыдов, Шафиркин. Космическая радиобиология за 55 лет...; Кричевский. Освоение космоса человеком...; Сакович В. А. Шестидесятилетие пилотируемых космических полетов в свете основных принципов обеспечения радиационной безопасности. Основные принципы в рекомендациях МКРЗ и в российском законодательстве. Часть 1 (в порядке дискуссии) // Радиация и риск. 2022. Т. 31. № 1. С. 64–73; Ушаков. Космос. Радиация. Человек...

¹⁰ ГОСТ 25645.201-83. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1984. С. 2.

¹¹ ГОСТ Р 25645.226-99. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. С. 1.

¹² Там же.

2. Активная защита — экранирование искусственным полем (внешнее защитное статическое электрическое и / или магнитное поле вокруг КА, базы на Луне и др.).

Биологическая и химическая защита — биологические, химические способы, технологии, радиопротекторы, фармакологические средства и др.

На практике методы, способы, технологии защиты от радиации стремятся использовать в сочетании¹³. Возможно, в будущем появятся принципиально новые методы, способы, технологии защиты на основе новых знаний и опыта¹⁴.

Источниковая база и анализ публикаций

Существует множество публикаций о защите людей от радиации в космосе. Выявлены и изучены свыше 100 источников, 50 из них отражены в данном тексте¹⁵.

В России значительно ограничен доступ к первоисточникам по данной теме из-за федеральных, ведомственно-отраслевых, корпоративных правил и других факторов. Многие первоисточники не представлены в доступных архивах. Рассекречивание идет медленно, например важные документы 1966 г. рассекречены госкорпорацией Роскосмос только в 2021 г. (через 55 лет)¹⁶.

Сложности с доступом к первоисточникам существуют и в США, например с доступом к документам о технологиях радиационной защиты и о других важных радиационных аспектах полетов астронавтов США на Луну в 1969–1972 гг. по программе «Аполлон», в том числе связанных с воздействиями радиационных поясов Земли (РПЗ) и другими рисками и опасностями радиации¹⁷.

¹³ См.: *Кричевский*. Освоение космоса человеком... С. 232–233. Подробнее см.: *Труханов К. А., Рябова Т. Я., Морозов Д. Х.* Активная защита космических кораблей. М.: Атомиздат, 1970; *Космическая биология и медицина...*; *Адамович, Горшенин*. Жизнь вне Земли... С. 239–244; *Саксонов П. П., Шашков В. С., Сергеев П. В.* Радиационная фармакология. М.: Медицина, 1976; *Ушаков*. Космос. Радиация. Человек...; *Бубеев Ю. А.* Полет во сне — наяву. Гибернация для дальних экспедиций // *Русский космос*. 2022. № 12. С. 30–35.

¹⁴ См.: *Паркер Ю.* Как защитить космических путешественников // *В мире науки*. 2006. № 2. С. 14–20; *Труханов К. А.* Радиационная и электромагнитная безопасность длительных и дальних пилотируемых космических полетов: дис. ... д-ра тех. наук. М., 2006; *Cortese F., Klokov D., Osipov A., Stefaniak J. et al.* Vive la Radioresistance!: Converging Research in Radiobiology and Biogerontology to Enhance Human Radioresistance for Deep Space Exploration and Colonization // *Oncotarget*. 2018. Vol. 9. P. 14692–14722.

¹⁵ Ряд публикаций посвящен идеям, технологиям, проектам, патентам. 20 важных примеров выделены, систематизированы и кратко описаны в подразделе «Общий анализ истории, закономерности и тенденции эволюции технологий, важные примеры» раздела «Технологии защиты людей от радиации в космосе в XX — начале XXI в.: классификация, периодизация, анализ, опыт, проблемы, перспективы».

¹⁶ См.: Рассекречено: последний «Восход» // <https://www.roscosmos.ru/30362/>.

¹⁷ См.: *Salerian A. J.* Apollo Flights and the Hazards of Radiation // *Journal of Physical Medicine Rehabilitation & Disabilities*. 2021. Vol. 7. Iss. 1. 100061.

Отсутствие доступа к первоисточникам затрудняет исторические исследования и вызывает сомнения в достоверности и полноте информации о проблеме защиты от радиации, доступной научному сообществу.

Не удалось обнаружить отечественные и зарубежные исследования, публикации с охватом всей истории технологий защиты людей от радиации в космосе, исторические аспекты в изученных источниках отражены фрагментарно. Целостную историю предстоит целенаправленно и систематически исследовать, изложить и опубликовать. Автором с 2022 г. сделана попытка постановки и начала таких исследований¹⁸.

Проблема защиты от радиации в космосе возникла в исследованиях и практике космических полетов в конце 1950-х гг. и стала чрезвычайно острой и важной в связи с новой информацией, полученной в полетах первых искусственных спутников Земли в околоземном космическом пространстве (ОКП): открытием внутреннего и внешнего РПЗ в 1958 г. Внутренний РПЗ открыл Дж. А. Ван Аллен (США), внешний открыли С. Н. Вернов, Е. А. Чудаков, П. В. Вакулов, Е. В. Горчаков, Ю. И. Логачев (СССР)¹⁹. В 2023 г. отмечалось 65-летие с момента открытия РПЗ.

Эту проблему необходимо было срочно решать для обеспечения надежности работы техники в космосе (особенно военных спутников) и в связи с началом отбора и подготовки астронавтов в США и космонавтов в СССР (1959–1960) и началом полетов людей в космос (1961).

В науке и практике важную роль в обеспечении безопасности космических полетов, защиты людей от радиации сыграли опережающие исследования воздействий радиации на животных на Земле и в космосе и их последствий²⁰.

С конца 1950-х гг. в нашей стране и мире получены новые данные по проблеме радиации в космосе: о РПЗ, магнитосфере Земли, Солнце, космических лучах, об их воздействиях на живые организмы, людей и технику, а также о методах и способах защиты от радиации в космосе. Продолжается активный процесс познания в интересах науки и практики.

Значительный вклад в исследования и решение проблемы защиты людей от радиации в космосе в нашей стране внесли Академия наук СССР, организации медицины и здравоохранения, атомной отрасли, Министерства обороны СССР. В России данной проблемой занимаются Институт медико-биологических проблем РАН и другие организации Минобрнауки, Федеральное медико-биологическое агентство, госкорпорации «Росатом», «Роскосмос» и др. Исследуют и решают эту проблему в НАСА и других организациях США, в ЕС, КНР, Японии и других странах, в международных

¹⁸ См.: *Кричевский*. Освоение космоса человеком... С. 227–240.

¹⁹ См.: *Van Allen J. A.* Radiation Belt around the Earth // *Scientific American*. 1959. Vol. 200. No. 3. P. 39–47; Внешний радиационный пояс Земли // *Открытия в СССР 1957–1967*. Сборник кратких описаний открытий, внесенных в Государственный реестр СССР / Ред. Ю. П. Конюшая. М.: ЦНИИПИ, 1968. С. 14–16. Причем «Комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР 27 марта 1965 г. принял решение о выдаче авторам открытия диплома № 23 с приоритетом от июля 1958 г.» (Там же. С. 15).

²⁰ См.: *Григорьев, Ушаков, Красавин, Давыдов, Шафиркин*. Космическая радиобиология за 55 лет...; *Ушаков*. Космос. Радиация. Человек...; *Рассекречено: последний «Восход»...*

организациях, в том числе в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) при активном участии России. С 1960-х гг. в нашей стране и мире созданы и развиваются национальные и международные правовые нормы, программы, структуры обеспечения радиационной безопасности пилотируемых космических полетов ²¹.

С начала процесса подготовки и выполнения пилотируемых полетов велись исследования, измерения уровней и доз радиации, полученных людьми на борту космических кораблей и станций, при выходах в открытый космос, пребывании в ОКП и на Луне.

Основные радиационные факторы в космосе – это излучение Солнца, радиационные поля Земли, галактические космические лучи (ГКЛ), излучение на небесных телах. За 65 лет развития пилотируемой космонавтики получены важные знания и результаты, накоплен большой опыт в области защиты людей в космических полетах от воздействия радиации. Причем кроме первичной есть и вторичная радиация. Особую опасность представляют солнечные вспышки, протонные события, тяжелые ядра в ГКЛ и другие факторы ²².

За год, проведенный человеком в межпланетном пространстве, космические лучи способны уничтожить треть его ДНК <...> Космические лучи могут стать причиной катаракты, повреждений мозга, раковых заболеваний <...> Признавая радиационную угрозу, аэрокосмическое агентство учредило в 2003 г. Программу защиты от космической радиации <...> Сначала было решено обезопасить космонавтов при помощи слоя какого-либо вещества <...> Вторая идея – отклонять космические лучи магнитным полем <...> В августе 2004 г. NASA устроило двухдневную встречу в Мичиганском университете <...> для оценки состояния дел. Вывод оказался неутешительным: пока не ясно, как решить проблему космических лучей ²³.

По оценке В. А. Шуршакова,

в августе 1972 года, когда американцы летали на Луну, произошло мощнейшее солнечное протонное событие. Миссии «Аполлона», к счастью, проходили

²¹ См.: Космическая биология и медицина...; *Адамович, Горшенин*. Жизнь вне Земли...; *Паркер*. Как защитить космических путешественников...; *Григорьев, Ушаков, Красавин, Давыдов, Шафиркин*. Космическая радиобиология за 55 лет...; *Ушаков*. Космос. Радиация. Человек...; *Сакович В. А.* Шестидесятилетие пилотируемых космических полетов в свете основных принципов обеспечения радиационной безопасности. Основные принципы в рекомендациях МКРЗ и в российском законодательстве. Часть 1...; *Сакович В. А.* Шестидесятилетие пилотируемых космических полетов в свете основных принципов обеспечения радиационной безопасности. Основные принципы в рекомендациях МКРЗ и в российском законодательстве. Часть 2 (в порядке дискуссии) // Радиация и риск. 2022. Т. 31. № 2. С. 62–75; сайт Национального аэрокосмического агентства США (НАСА) (<http://www.nasa.gov/>); сайт Роскосмоса (<https://www.roscosmos.ru/>); NICA поможет сделать космос безопаснее // <http://www.jinr.ru/posts/nica-pomozhet-sdelat-polety-v-kosmos-bezopasnee/>.

²² См.: Космическая биология и медицина...; *Адамович, Горшенин*. Жизнь вне Земли...; *Паркер*. Как защитить космических путешественников...; *Шибанов*. Обитаемость космоса...; *Григорьев, Ушаков, Красавин, Давыдов, Шафиркин*. Космическая радиобиология за 55 лет...; *Ушаков*. Космос. Радиация. Человек...; *Cortese, Klokov, Osipov, Stefaniak et al.* Vive la Radioresistance!...

²³ *Паркер*. Как защитить космических путешественников... С. 14, 16, 17.

весной и в конце зимы. Астронавтам повезло: если бы они были на Луне во время вспышек, то могли погибнуть, получив очень большую дозу радиации²⁴.

У них не было адекватных средств защиты. Но такие средства защиты не созданы и через 50 лет, хотя готовятся новые миссии людей на Луну в США (проект «Артемиды») ²⁵ и в других странах.

По описанию А. С. Самойлова, И. Б. Ушакова, В. А. Шурикакова,

дозы радиации на космической станции в ~200 раз больше, чем при среднем наземном фоне облучения человека в обычных земных условиях. За год полета на Международной космической станции (МКС) космонавт получает дозу, примерно в 10 раз превышающую (200 мЗв/год) нормы радиационной безопасности для работника атомной промышленности (в среднем 20 мЗв/год) <...> при работе в скафандре средняя мощность дозы на поверхности тела примерно в ~5 раз больше, чем внутри станции и составляет уже 1000-кратный земной фон²⁶.

Еще больше дозы радиации будут при пребывании человека на поверхности Луны и Марса (причем на Луне они выше из-за отсутствия атмосферы).

В России и мире с конца 1950-х гг. решение проблемы защиты людей от радиации в космосе шло и идет медленно, в том числе на действующей МКС. В 1990–2010-х гг. были достигнуты пределы длительности безопасного непрерывного пребывания людей в ОКП, обусловленные радиационными рисками, свойствами организма человека, особенностями и ограничениями космических технологий и техники²⁷. При этом за всю жизнь человека «с учетом современных нормативов <...> суммарное пребывание на станции на низкой околоземной орбите не может превысить 4 года»²⁸.

Еще сложнее ситуация для полетов в дальний космос, за пределы магнитосферы Земли. По мнению академика РАН М. А. Островского,

в последнее десятилетие выяснилось, что именно в гиппокампе возобновляются нервные клетки <...> Сейчас становится очевидным, что новая память связана с образованием новых нейронов в гиппокампе. Молодые клетки на порядок более чувствительны к воздействию радиации, а стволовые клетки еще более чувствительны. Отсюда возникает принципиальная проблема радиационного риска <...> Само выполнение миссии в течение 500 или более дней ставится под вопрос²⁹.

²⁴ Цит. по: *Синева*. Почему на Марсе можно побывать... Также см.: *Шурикаков В.* Как на космонавтов влияет радиация? // <https://postnauka.ru/faq/74777>.

²⁵ См.: *Кричевский*. Освоение космоса человеком... С. 230. См. также: сайт Национального аэрокосмического агентства США (НАСА) (<http://www.nasa.gov/>).

²⁶ *Самойлов А. С., Ушаков И. Б., Шурикаков В. А.* Радиационное воздействие в орбитальных и межпланетных космических полетах: мониторинг и защита // *Экология человека*. 2019. Т. 26. № 1. С. 5.

²⁷ См.: *Кричевский*. Освоение космоса человеком...

²⁸ *Ушаков*. Космос. Радиация. Человек... С. 17.

²⁹ На Совете РАН по космосу рассмотрели вопрос о радиационных рисках при космических полетах // <https://www.atomic-energy.ru/news/2017/12/13/81697?ysclid=I9losmp26z197625910>. Об этом же см. в статье: *Григорьев А. И., Красавин Е. А., Островский М. А.* К вопросу о радиационном барьере при пилотируемых межпланетных полетах // *Вестник РАН*. 2017. Т. 87. № 1. С. 67.

Чрезвычайно высокий уровень риска связан с воздействием ГКЛ.

Для решения проблемы радиационного риска при полетах в дальний космос, обусловленного влиянием тяжелых ядер ГКЛ, необходимо комплексное изучение поражающего действия заряженных частиц на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. Наиболее важными здесь будут исследования нарушений высших интегративных функций мозга ³⁰.

Таким образом, проблема защиты людей от радиации вне Земли, создания и внедрения новых методов и средств становится все более актуальной и сложной. Без ее решения, без преодоления «радиационного барьера», увеличение продолжительности пребывания людей вне Земли, длительные полеты на Луну, межпланетные полеты на Марс и т. д., создание резервного человечества вне Земли, репродукция людей в космосе, создание космического человека и человечества, экспансия невозможны.

При создании средств защиты людей от радиации в космосе с конца 1950-х гг. используются знания и большой опыт защиты от радиации на Земле. Но в космосе есть ряд серьезных ограничений: «витальных» (обусловленных природой, свойствами, ограничениями человека), технологических (масса, габариты, материалы, надежность, безопасность, эффективность, логистика и т. д.), экономических (стоимость производства средств защиты, доставки в космос и т. д.) и др.

Вместе с тем есть принципиально новые подходы, ведутся интенсивные исследования, появляются новые возможности, варианты и перспективы решения этой проблемы ³¹.

Технологии защиты людей от радиации в космосе в XX — начале XXI в.: классификация, периодизация, анализ, опыт, проблемы, перспективы

В XX — начале XXI в. в СССР (России), США, ЕС, Израиле, Италии, Японии и других странах было обнародовано множество идей, технологий, проектов, патентов, исследований, посвященных защите людей от радиации в космосе — в ОКП, на Луне, Марсе, в межпланетных полетах и т. д. Их авторы — отечественные и зарубежные ученые, инженеры, биологи, медики, такие как В. В. Антипов, А. И. Григорьев, Ю. Г. Григорьев, Б. И. Давыдов, Дж. А. Ван Аллен (*J. A. Van Allen*), В. М. Васин, Д. А. Карташев, Е. А. Красавин, А. О. Майборода, М. А. Островский, В. И. Павленко, Ю. Паркер (*E. Parker*), А. Г. Ребеко, В. А. Сакович, П. П. Саксонов, Н. Н. Тимофеев, И. Б. Ушаков, О. С. Цыганков, А. В. Шафиркин, В. А. Шуршаков, В. И. Яздовский, Ф. Кортесе (*F. Cortese*), Т. Каку (*T. Kaku*) и др. Они внесли важный вклад в изучение и решение проблемы защиты людей от радиации в космосе, их деятельность достойна специального изучения и описания.

³⁰ Там же. С. 68.

³¹ См.: *Кричевский*. Освоение космоса человеком...; *Cortese, Klokov, Osipov, Stefaniak et al.* Vive la Radioresistance!...

В данной главе представлены материалы и результаты систематизации и анализа истории технологий защиты людей от радиации в космосе: общая классификация; периодизация; общий анализ истории, закономерности и тенденции эволюции технологий, важные примеры; опыт, проблемы, новые исследования и перспективы³².

Общая классификация

Целями технологий защиты людей от радиации в космосе могут быть частичная, локальная, ограниченная или полная и постоянная защита.

Методы и способы защиты: физические (пассивные и активные), биологические, химические и др.

Техника включает в себя материалы, конструкции, устройства, системы защиты от радиации.

Этапы применения защиты: 1) дополетный (отбор и подготовка людей, подготовка техники к полетам в космос); 2) космический (в космических полетах, вне Земли); 3) послеполетный (после возвращения на Землю)³³.

Периодизация

Весь процесс исследований и работ по проблеме защиты людей от радиации в космосе как историю идей, технологий, проектов можно разделить на три периода:

1. Теоретические исследования и начало создания на Земле технологий, средств защиты людей от радиации в космосе на основе знаний и опыта о средствах защиты от радиации на Земле (с конца 1950-х гг.).

2. Разработка и испытания на Земле и в космосе новых методов, технологий защиты от радиации, использование их в пилотируемых полетах с 1960-х гг. в ОКП и на Луне.

3. Создание и внедрение в XXI в. комплекса новых технологий для защиты людей от радиации в длительных полетах в ОКП и в межпланетных полетах, при освоении Луны и Марса: на низкой орбите в ОКП, в полетах на Луну, на Луне и при возвращении на Землю — в 2020–2040-х гг.; в межпланетных полетах к Марсу, на Марсе и при возвращении на Землю — в 2030–2050-х гг. (оптимистический прогноз)³⁴.

Общий анализ истории, закономерностей и тенденций эволюции технологий, важные примеры

Общий анализ истории защиты людей от радиации в космосе сделан на основе изучения и систематизации доступной информации. Выявлены и проанализированы около 100 идей, технологий, патентов, проектов в России и мире, посвященных защите людей от радиации в космосе, но большинство из них не реализованы на практике, внедрение идет медленно³⁵. Преобладает пассивная

³² См.: Кричевский. Освоение космоса человеком... С. 234–240.

³³ См.: Там же. С. 234–235; Кричевский. Проблема защиты людей от радиации в космосе... С. 144–147.

³⁴ См.: Кричевский. Освоение космоса человеком... С. 234.

³⁵ Такое количество не является полным и исчерпывающим, в том числе в связи с ограниченным доступом к первоисточникам и результатам исследований в России и мире, значительной задержкой публикаций.

физическая защита от радиации экранированием (около 70 % – оценка автора). Значительная часть из общего количества способов защиты связана с применением медико-биологических технологий (до 20 % – оценка автора). Проявляется тенденция к созданию новых активных физических, биологических, химических, медицинских и других технологий, способов защиты ³⁶.

Выделим и кратко представим в хронологическом порядке 20 важных примеров на основе анализа доступных источников:

1. Пассивная физическая защита с помощью оболочки корабля и различных экранов (внешнего металлического (алюминиевого и др.) корпуса, покрытий, других элементов конструкции, оборудования, снаряжения пилотируемых кораблей) (с конца 1950-х гг., СССР, США) ³⁷.

2. Активная физическая защита космических кораблей, основанная на отклонении потоков заряженных частиц (протонов, электронов) магнитными и электрическими полями (К. А. Труханов и др., 1970, СССР) ³⁸.

3. Фармакологическая защита (применение радиопротекторов из бортовой аптечки и др.) (1970-е гг., СССР) ³⁹.

4. Использование покрытия из нескольких слоев влажных салфеток и полотенец в каютах служебного модуля российского сегмента (РС) МКС (2004, Россия) ⁴⁰.

5. Защита водой, магнитная защита, электростатическая защита (Ю. Паркер, 2006, США) ⁴¹.

6. Система обеспечения радиационной безопасности пилотируемой экспедиции на Марс (А. С. Коротеев и др., 2006, Россия) ⁴².

7. Защита искусственными электромагнитными полями (А. Г. Ребеко, 2008, Россия) ⁴³.

³⁶ См.: Кричевский. Освоение космоса человеком... С. 235–237.

³⁷ См.: Адамович, Горшенин. Жизнь вне Земли...; Григорьев, Ушаков, Красавин, Давыдов, Шафиркин. Космическая радиобиология за 55 лет...; Раскредено: последний «Восход»...; сайт Национального аэрокосмического агентства США (НАСА) (<http://www.nasa.gov/>); сайт Роскосмоса (<https://www.roscosmos.ru>).

³⁸ См.: Труханов, Рябова, Морозов. Активная защита космических кораблей...

³⁹ См.: Саксонов, Шашков, Сергеев. Радиационная фармакология...; Ушаков И. Б., Васин М. В. Фармакологическая защита в дальнем космосе: современный взгляд // Радиационная биология. Радиозология. 2019. Т. 59. № 2. С. 150–160.

⁴⁰ См.: Самойлов, Ушаков, Шуришаков. Радиационное воздействие...; Ушаков. Космос. Радиация. Человек... Также см. описание на основе информации летчика-космонавта России Г. И. Падалки.

⁴¹ Паркер. Как защитить космических путешественников... С. 14–20.

⁴² Пилотируемая экспедиция на Марс / Гл. ред. А. С. Коротеев. М.: Российская академия космонавтики им. К. Э. Циолковского, 2006. С. 288–298.

⁴³ См.: Патент RU 2406 661 С2 (2010). Описание изобретения к патенту: Ребеко А. Г. Способ защиты от заряженных частиц космической радиации. Патентобладатель: Ребеко А. Г.; заявл. 28.07.2008; опубл. 20.12.2010 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ. Бюллетень № 35; Ребеко А. Г. Защита людей и космических аппаратов в космосе // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. № 5 (53) (<https://cyberleninka.ru/article/n/zaschita-lyudey-i-kosmicheskikh-apparatov-v-kosmose>).

8. Защита полиэтиленом помещений экипажа на американском модуле МКС (НАСА, 2008, США) ⁴⁴.

9. Отбор космонавтов с учетом генетических аспектов (2010, Россия, США) ⁴⁵.

10. Устройство для защиты водой от ионизирующего излучения в помещениях космического корабля (И. Б. Ушаков и др., 2013, Россия) ⁴⁶.

11. Космическое радиационное убежище (сферический корпус жилого отсека из поглощающего радиацию легкоатомного материала, наклеенные на корпус сферические зеркала) (А. Р. Кузьмин, 2015, Россия) ⁴⁷.

12. Защита слоем реголита на Луне (О. С. Цыганков, 2016, Россия) ⁴⁸.

13. Дополнительная защита специальным полиэтиленом высокого давления кают экипажа РС МКС (Д. А. Карташев и др., 2017, Россия) ⁴⁹.

14. Жилеты для защиты астронавтов (Компания *StemRad*, 2017, Израиль; 2018, Италия) ⁵⁰.

15. Защита под поверхностью Луны, в пещерах и лавовых трубках (Т. Каку и др., 2017) ⁵¹.

16. Генная терапия и др. (Ф. Кортеше и др., НАСА, 2018, США) ⁵².

⁴⁴ См.: *Schlesinger Th. P., Rodriguez B. R., Borrego M. A.* International Space Station Crew Quarters On-Orbit Performance and Sustaining // <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20130011142/downloads/20130011142.pdf>.

⁴⁵ См.: *Крючков Б. И.* Полеты человека в космос в XXI веке // *Космонавтика XXI века: попытка прогноза развития до 2101 года* / Ред. Б. Е. Черток. М.: РТСофт, 2010. С. 107; сайт Национального аэрокосмического агентства США (НАСА) (<http://www.nasa.gov/>).

⁴⁶ См.: Патент RU 135153 U1 (2013). Описание полезной модели к патенту: *Ушаков И. Б., Шуришаков В. А., Ярманова Е. Н., Бондарева Т. А., Карцев И. С.* Устройство для защиты от ионизирующего излучения в помещениях космического корабля. Владелец патента: ФГБУН ГНЦ РФ – ИМБП РАН; заявл. 21.03.2013; опубл. 27.11.2013 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ. Бюллетень № 33.

⁴⁷ См.: Патент RU 2595067 C1 (2016). Описание изобретения к патенту: *Кузьмин А. Р.* Космическое радиационное убежище. Патентообладатель: Кузьмин А. Р.; заявл. 25.06.2015; опубл. 20.08.2016 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности РФ. Бюллетень № 23.

⁴⁸ См.: Патент RU 2624893 C1 (2017). Описание изобретения к патенту: *Цыганков О. С.* Средство и способ защиты искусственных объектов от воздействия факторов космического пространства. Владелец патента: Открытое акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация “Энергия” имени С. П. Королева»; заявл.: 25.02.2016; опубл.: 07.07.2017 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности РФ. Бюллетень № 19.

⁴⁹ См.: *Карташов Д. А., Карцев И. С., Толочек Р. В., Шуришаков В. А.* Расчет радиационных нагрузок в отсеке космической станции при использовании дополнительной защиты из полиэтилена высокого давления // *Космические исследования*. 2019. Т. 57. № 3. С. 192–198.

⁵⁰ См.: *Mars Astronaut Radiation Shield Set for Moon Mission Trial* // *VentureBeat*. March 4, 2017 (<https://venturebeat.com/offbeat/mars-astronaut-radiation-shield-set-for-moon-mission-trial/>); *Baiocco G., Giraudo M., Bocchini L. et al.* A Water-Filled Garment to Protect Astronauts during Interplanetary Missions Tested on Board the ISS // *Life Sciences in Space Research*. 2018. Vol. 18. P. 1–11.

⁵¹ См.: *Kaku T., Haruyama J., Miyake W., Kumamoto A. et al.* Detection of Intact Lava Tubes at Marius Hills on the Moon by SELENE (Kaguya) Lunar Radar Sounder // *Geophysical Research Letters*. 2017. Vol. 44. Iss. 20. P. 10155–10161.

⁵² См.: *Cortese, Klokov, Osipov, Stefaniak et al.* Vive la Radioresistance!...

17. Многослойные покрытия для костюмов космонавтов (полимер-углеродный композит) (В. И. Павленко и др., 2020, Россия) ⁵³.

18. Пакет из пассажирских кораблей внутри пакета грузовых кораблей, защита конструкцией ракет и топливом (проект *Testudo*, А. О. Майборода, 2021, Россия) ⁵⁴.

19. Использование гибернации (продолжительного погружения в сон) космонавтов в длительных межпланетных космических полетах (например на Марс) для улучшения защиты от радиации за счет замедления обмена веществ (И. Б. Ушаков, 2021; Ю. А. Бубеев, 2022, Россия) ⁵⁵.

20. Магнитный пузырь на основе технологии сверхпроводящих магнитов (2022, США) ⁵⁶.

Данный ряд можно продолжить. Приведенные 20 примеров в целом отражают историю и свойства технологий защиты людей от радиации в космосе, процесс, закономерности и тенденции эволюции: от простой «механической» пассивной физической защиты в первый период, с конца 1950-х гг., к сочетанию пассивных и активных технологий защиты от радиации в ОКП и на Луне во второй период, с 1960-х гг., а затем к созданию сложного комплекса принципиально новых эффективных технологий с повышением роли активных технологий защиты (генетических, фармакологических, электромагнитных и др.) в третьем периоде, с 2020-х гг.

Однако из этих 20 важных примеров идей, технологий, патентов, проектов менее половины внедрены в практику (на начало 2023 г.). Здесь приведены всего пять патентов, но их общее количество значительно больше (по оценке автора — более 100), количество нарастает. Причем далеко не ко всем технологиям открыт доступ — многие из них не патентуются, в том числе из-за военных аспектов и коммерческой тайны.

Таким образом, в России и мире имеется большое количество технологий защиты людей от радиации в космосе, их потенциал и возможности нарастают, однако используются они со значительным отставанием и малоэффективно.

Опыт, проблемы, новые исследования и перспективы

Решение чрезвычайно сложной и дорогостоящей проблемы защиты людей от радиации в космосе с конца 1950-х гг. шло и идет медленно. Критический

⁵³ См.: Патент RU 2719682 C1 (2020). Описание изобретения к патенту: Павленко В. И., Курицын А. А., Попова Е. В., Глаголев С. Н., Черкашина Н. И. Многослойный полимер-углеродный композит для защиты от космического воздействия и способ его получения. Владелец патента: ФГБУ ВО «Белгородский ГТУ им. В. Г. Шухова» и ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю. А. Гагарина»; заявл. 16.07.2019; опубл. 21.04.2020 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности РФ. Бюллетень № 12.

⁵⁴ См.: Майборода А. О. Эффективные способы защиты от космических факторов в межпланетном полете и внеземной колонии // Воздушно-космическая сфера. 2021. № 3. С. 32–41.

⁵⁵ Ушаков. Космос. Радиация. Человек... С. 318–335; Бубеев. Полет во сне — наяву...

⁵⁶ См.: Atkinson N. A Magnetic Bubble Could Protect Astronauts From Dangerous Space Radiation // Universe Today. Space and Astronomy News. May 5, 2022 (<https://www.universetoday.com/155605/a-magnetic-bubble-could-protect-astronauts-from-dangerous-space-radiation/>).

анализ истории разработки этой проблемы содержится в ряде публикаций, например в важной статье Ф. Кортезе с соавторами, в которой отмечается, что,

несмотря на то что было предпринято много усилий, чтобы проложить путь к колонизации космоса человеком, мало внимания уделялось методам защиты космонавтов от суровых космических и местных радиоактивных сред и высоким затратам, связанным с защитой от вредных физиологических эффектов воздействия излучения с высокой линейной передачей энергии (high-LET) ⁵⁷.

По существу, мы уперлись в эту проблему, в «радиационный барьер», и пока нет уверенности, что удастся его преодолеть. В начале XXI в. произошли торможение и «зависание» в развитии пилотируемой космонавтики (особенно в России). Это проявляется в ограничении максимальной продолжительности пилотируемых полетов, под вопросом целесообразность длительных экспедиций в ОКП, полетов людей на Луну и длительного пребывания на ней, еще больше ограничений для пилотируемой экспедиции на Марс ⁵⁸.

Новые пилотируемые полеты, экспедиции людей на Луну, а затем межпланетные полеты, экспедиции на Марс, безопасная, полноценная длительная и постоянная жизнь людей вне Земли, экспансия человечества в космос невозможны без значительного продвижения в решении проблемы защиты от радиации, необходимы значительные усилия, ресурсы и принципиально новые решения.

Кратко рассмотрим опыт, полученный на МКС в 2010–2020-е гг. На МКС в американском модуле для защиты людей от радиации с 2008 г. используется защита кают астронавтов – слой специального полиэтилена высокой плотности толщиной примерно 5 см ⁵⁹. Российский летчик-космонавт Г. И. Падалка в мае – сентябре 2012 г. во время 125-суточной экспедиции на МКС совершил один выход в открытый космос на 6 час., во время которого получил дозу облучения, эквивалентную получаемой за одни сутки нахождения на МКС. Отдыхал он в каюте в американском модуле. Летавший одновременно с ним летчик-космонавт С. Н. Ревин не выполнял выходов в открытый космос. Отдыхал, спал он в каюте в российском модуле. По результатам анализа индивидуальных дозиметров после завершения полета и другой информации Падалка получил дозу радиации примерно на 30 % меньшую, чем доза Ревина. Влажные салфетки, полотенца для защиты от радиации стали применять в российском модуле МКС в каютах космонавтов с 2004 г., они размещались в несколько слоев в каютах вдоль поверхности борта станции ⁶⁰.

⁵⁷ См.: Cortese, Klokov, Osipov, Stefaniak et al. Vive la Radioreistance!...

⁵⁸ См.: Кричевский. Освоение космоса человеком...; Кричевский. Пора наладить жизнь людей вне Земли // Воздушно-космическая сфера. 2022. № 1. С. 6–17; Пилотируемая экспедиция на Марс...; Ушаков. Космос. Радиация. Человек...

⁵⁹ См.: Schlesinger, Rodriguez, Borrego. International Space Station Crew Quarters...; Синева. Почему на Марсе можно побывать...

⁶⁰ Краткое описание сделано автором с использованием информации, полученной от эксперта-профессионала, летчика-космонавта России Г. И. Падалки в ходе интервью с ним по вопросам защиты космонавтов от радиации в космосе 21 октября 2022 г. См.: Кричевский. Освоение космоса человеком... С. 238.

Все это свидетельствует о том, что проблему защиты людей от радиации на МКС решали «вдогонку», после того как станция была создана, запущена и работала в космосе в пилотируемом режиме, с экипажами на борту. Возникла необходимость в дополнительной радиационной защите, а также появились новые технологии (специальный полиэтилен и др.), которые позволили это делать ⁶¹.

Из описаний и анализа, приведенных выше, следует, что необходимы новые интенсивные работы по изучению и решению проблемы защиты от космической радиации. И они уже организованы и ведутся в международной коллаборации с участием России с конца 2010-х гг. В 2018 г. был создан международный консорциум, решающий проблему защиты от космической радиации, объединивший ученых из 29 организаций по всему миру, включая специалистов из США, России и других стран. Составлена стратегия повышения радиорезистентности человека, направленная на то, чтобы космическая радиация не препятствовала человечеству в покорении космоса и колонизации Марса. Рассматриваются несколько направлений исследований по защите космонавтов от облучения, включая лекарственную терапию, генную инженерию и технологию гибрикации ⁶². Закладываются основы дорожной карты в целях колонизации и исследования дальнего космоса ⁶³.

Важные исследования проводятся учеными НАСА в сотрудничестве с правительством и другими организациями США по национальной инициативе борьбы с раком. Они имеют большой опыт работ в области прогнозирования и управления радиационными рисками, связанными с космическим полетом человека.

Мы недалеко от того, чтобы иметь все больше и больше людей в космосе в течение длительных периодов времени, поэтому нам нужно понять, каковы эти риски и как они повлияют на большую популяцию <...> Мы не только беспокоимся об астронавтах, но и смотрим вперед за горизонт, поскольку космос становится более доступным для всех ⁶⁴.

Это обнадеживает, создает новые стимулы и возможности для решения проблемы защиты людей от радиации в космосе, снижения рисков, обеспечения радиационной безопасности и повышения качества жизни вне Земли и дальнейшего освоения космоса человеком ⁶⁵.

Заключение

Впервые выполнено историко-техническое исследование, посвященное истории технологий защиты людей от радиации в космосе в России и мире в XX – начале XXI в. В контексте истории науки и техники кратко

⁶¹ См.: *Карташов, Карцев, Толочек, Шуришаков*. Расчет радиационных нагрузок в отсеке...

⁶² См.: Ученые объявили войну космической радиации // https://mipt.ru/newsblog/lenta/uchyeny_e_obyavili_voynu_kosmicheskoy_radiatsii.

⁶³ По: *Cortese, Klovov, Osipov, Stefaniak et al.* Vive la Radioresistance!...

⁶⁴ NASA Scientists Join White House Cancer Initiative // <https://www.nasa.gov/feature/nasa-scientists-join-white-house-cancer-initiative>.

⁶⁵ См.: *Кричевский*. Освоение космоса человеком...

рассмотрена проблема защиты людей от радиации в космосе, актуальная для науки и практики в связи с освоением космоса. Изложены методологические основания, основные понятия и определения. Дано описание источниковой базы исследования, сделан краткий анализ публикаций.

Представлена краткая история решения проблемы защиты людей от радиации в космосе как процесс эволюции идей, технологий, проектов, знаний, опыта в России и мире с конца 1950-х гг. Предложены общая классификация технологий защиты и периодизация их истории.

Выявлены и проанализированы свыше 100 источников, около 100 идей, технологий, патентов, проектов, посвященных защите человека от радиации в космосе, сделаны их описание и систематизация. Выделены и кратко представлены 20 важных примеров из этой области. Выявлены закономерности и тенденции развития радиационной защиты. Отмечено, что преобладают пассивные физические (около 70 %), а также медико-биологические (до 20 %) способы защиты людей от радиации в космосе, но большинство из них не внедрены в практику. Показано, как используются знания и опыт, полученные на Земле и в космосе, как создаются новые активные физические, биологические и другие способы защиты, сочетаются различные методы, способы, технологии защиты.

Рассмотрены опыт, проблемы и новые исследования в России и мире, перспективы защиты людей от радиации в космосе. Радиация в космосе создает высокие риски, оказывает опасное, ограничивающее, воздействие на жизнь и деятельность людей вне Земли. Решение проблемы защиты людей от радиации в космосе шло и идет медленно.

Для дальнейшего освоения космоса предстоит преодолеть «радиационный барьер», но нет уверенности, что это получится. Необходимо критическое изучение истории, опыта, опережающее создание и внедрение новых методов, способов, технологий защиты людей.

С 2020-х гг. в России и мире ведутся новые важные исследования и практические работы, создаются принципиально новые технологии, появляются новые возможности для решения проблемы защиты людей от радиации в космосе и для дальнейшей космической экспансии.

Знания и опыт создания и применения технологий защиты людей от радиации в космосе имеют важное «обратное» значение и для защиты здоровья и жизни людей на Земле.

Целесообразно продолжать исследования истории защиты людей от радиации в космосе, в том числе при активном международном сотрудничестве, использовать новые знания для развития науки, образования и практики освоения космоса, решения земных проблем.

References

- Adamovich, B. A., and Gorshenin, V. A. (1997) *Zhizn' vne Zemli [Life Outside of Earth]*. Moskva: AO "RAU-universitet" and Mezhhgosudarstvennyi finansovo-promyshlennyy kontsern "Tekhnologiya-industriya".

- Atkinson, N. (2022) A Magnetic Bubble Could Protect Astronauts From Dangerous Space Radiation, *Universe Today. Space and Astronomy News*, May 5 (<https://www.universetoday.com/155605/a-magnetic-bubble-could-protect-astronauts-from-dangerous-space-radiation/>).
- Baiocco, G., Giraudo, M., Bocchini, L., Barbieri, S. et al. (2018) A Water-Filled Garment to Protect Astronauts during Interplanetary Missions Tested on Board the ISS, *Life Sciences in Space Research*, vol. 18, pp. 1–11.
- Bubeev, Iu. A. (2022) Polet vo sne – naiavu. Gibernatsiia dlia dal'nikh ekspeditsii [Flight in a Dream Is a Reality. Hibernation for Long-Distance Expeditions], *Russkii kosmos*, no. 12, pp. 30–35.
- Cortese, F., Klokov, D., Osipov, A., Stefaniak, J. et al. (2018) Vive la Radioresistance!: Converging Research in Radiobiology and Biogerontology to Enhance Human Radioresistance for Deep Space Exploration and Colonization, *Oncotarget*, vol. 9, no. 18, pp. 14692–14722.
- Газенко, О. Г., Григор'ев, А. И., Никогосиан, А. Е., and Мoler, S. R. (1994–2009) *Kosmicheskaia biologiiia i meditsina. V 5 t. [Space Biology and Medicine. In 5 vols.]*. Moskva: Nauka and Washington: Amerikanskii institut aeronavtiki i astronavtiki.
- Grigor'ev, A. I., Krasavin, E. A., and Ostrovskii, M. A. (2017) K voprosu o radiatsionnom bar'ere pri pilotiruemykh mezhplanetnykh poletakh [The Problem of the Radiation Barrier during Piloted Interplanetary Flights], *Vestnik RAN*, vol. 87, no. 1, pp. 65–69.
- Grigor'ev, Iu. G., Ushakov, I. B., Krasavin, E. A., Davydov, B. I., and Shafirkin, A. V. (2013) Kosmicheskaia radiobiologiiia za 55 let (k 50-letiiu GNTs RF – IMBP RAN) [*Space Radiobiology over 55 Years (Towards the 50th Anniversary of the Russian Scientific Center IMBP RAS)*]. Moskva: Ekonomika.
- Kaku, T., Haruyama, J., Miyake, W., Kumamoto, A. et al. (2017) Detection of Intact Lava Tubes at Marius Hills on the Moon by SELENE (Kaguya) Lunar Radar Sounder, *Geophysical Research Letters*, vol. 44, iss. 20, pp. 10155–10161.
- Kartashov, D. A., Kartsev, I. S., Tolochev, R. V., and Shurshakov, V. A. (2019) Raschet radiatsionnykh nagruzok v otseke kosmicheskoi stantsii pri ispol'zovanii dopolnitel'noi zashchity iz polietilena vysokogo davleniia [Calculation of Radiation Loads in a Space Station Compartment Using Additional Protection Made of High-Pressure Polyethylene], *Kosmicheskie issledovaniia*, vol. 57, no. 3, pp. 192–198.
- Koroteev, A. S. (ed.) (2006) *Pilotiruemaia ekspeditsiia na Mars [Manned Expedition to Mars]*. Moskva: Rossiiskaia akademiia kosmonavtiki im. K. E. Tsiolkovskogo.
- Krichevskii, S. V. (2022) *Osvoenie kosmosa chelovekom: idei, proekty, tekhnologii ekspansii. Istoriia i perspektivy. 2-e izd. [Human Space Exploration: Ideas, Projects, Expansion Technologies. History and Prospects. 2nd ed.]*. Moskva: LENAND.
- Krichevskii, S. V. (2022) Pora naladit' zhizn' liudei vne Zemli [Time to Improve People's Living outside of Earth], *Vozdushno-kosmicheskaia sfera*, no. 1, pp. 6–17.
- Krichevskii, S. V. (2023) Problema zashchity liudei ot radiatsii v kosmose: evoliutsiia idei, proektov, tekhnologii v XX–XXI vekakh v Rossii i mire [The Problem of Protecting People from Radiation in Space: The Evolution of Ideas, Projects, Technologies in Russia and globally in the 20th–21st Century], in: Fando, R. A., Baturin, Iu. M., and Minina, E. V. (eds.) *Institut istorii estestvoznaniia i tekhniki im. S. I. Vavilova. Godichnaia nauchnaia konferentsiia, 2023 [S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology. Annual Scientific Conference, 2023]*. Moskva: IET RAN, pp. 144–147.
- Krichevskii, S. V. (2023) Zashchita liudei ot radiatsii v kosmose: kratkaia istoriia idei, tekhnologii, proektov v Rossii i mire [Protecting People from Radiation in Space: A Brief History of Ideas, Technologies, and Projects in Russia and Globally], in: *XLVII Akademicheskie chteniia po kosmonavtike, posviashchennnye pamiatii akademika S. P. Koroleva i drugikh vydaiushchikhsia otechestvennykh uchenykh – pionerov osvoeniia kosmicheskogo prostranstva (Moskva, 24–27 ianvaria 2023 goda): sbornik tezisev: v 4 t. [47th Academic Readings on Cosmonautics, Dedicated to the Memory of Academician S. P. Korolev and Other Outstanding Russian Scientists – Pioneers of Space Exploration (Moscow, January 24–27, 2023): Abstracts: in 4 vols.]*. Moskva: Izdatel'stvo MGTU im. N. E. Bauman, vol. 1, pp. 24–25.
- Kriuchkov, B. I. (2010) Polety cheloveka v kosmos v XXI veke [Human Spaceflight in the 21st Century], in: Chertok, B. E. (ed.) *Kosmonavtika XXI veka: Popytka prognoza razvitiia do*

- 2101 goda [Space Exploration in the 21st Century: An Attempt to Forecast its Development up to 2101]. Moskva: RTSoft, pp. 91–108.
- Lem, S. (1968) *Summa tekhnologii [Summa Technologiae]*. Moskva: Mir.
- Maiboroda, A. O. (2021) Effektivnye sposoby zashchity ot kosmicheskikh faktorov v mezhplanetnom korabe i vnezemnoi kolonii [Effective Ways to Protect against Space Factors in an Interplanetary Spacecraft and an Extraterrestrial Colony], *Vozdushno-kosmicheskaya sfera*, no. 3, pp. 32–41.
- Mars Astronaut Radiation Shield Set for Moon Mission Trial (2017), <https://venturebeat.com/offbeat/marsastronaut-radiation-shield-set-for-moon-mission-trial/>.
- NASA Scientists Join White House Cancer Initiative, <https://www.nasa.gov/feature/nasa-scientists-join-white-house-cancer-initiative>.
- NICA pomozhet sdelat' kosmos bezopasnee [NICA Will Help Make Space Safer], <http://www.jinr.ru/posts/nica-pomozhet-sdelat-polety-v-kosmos-bezopasnee/>.
- Parker, Iu. (2006) Kak zashchitit' kosmicheskikh puteshestvennikov [How to Protect Space Travelers], *V mire nauki*, no. 2, pp. 14–20.
- Rassekrecheno: poslednii "Voskhod" [Declassified: The Last Voskhod], <https://www.roscosmos.ru/30362/>.
- Rebeko, A. G. (2016) Zashchita liudei i kosmicheskikh apparatov v kosmose [Protecting People and Spacecrafts in Space], *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii*, no. 5 (53).
- Sakovich, V. A. (2022) Shestidesiatiletie pilotiruemykh kosmicheskikh poletov v svete osnovnykh printsipov obespecheniia radiatsionnoi bezopasnosti. Osnovnye printsipy v rekomendatsiakh MKRZ i v rossiiskom zakonodatel'stve. Chast' 1 (v poriadke diskussii) [Sixtieth Anniversary of Manned Space Flights in Light of the Basic Principles of Radiation Safety. Basic Principles in the ICRP Recommendations and in the Russian Legislation. Part 1 (a Matter for Discussion)]. *Radiatsiia i risk*, vol. 31, no. 1, pp. 64–73.
- Sakovich, V. A. (2022) Shestidesiatiletie pilotiruemykh kosmicheskikh poletov v svete osnovnykh printsipov obespecheniia radiatsionnoi bezopasnosti. Osnovnye printsipy v rekomendatsiakh MKRZ i v rossiiskom zakonodatel'stve. Chast' 2 (v poriadke diskussii) [Sixtieth Anniversary of Manned Space Flights in Light of the Basic Principles of Radiation Safety. Basic Principles in the ICRP Recommendations and in the Russian Legislation. Part 2 (A Matter for Discussion)]. *Radiatsiia i risk*, vol. 31, no. 2, pp. 62–75.
- Saksonov, P. P., Shashkov, V. S., and Sergeev, P. V. (1976) *Radiatsionnaya farmakologiya [Radiation Pharmacology]*. Moskva: Meditsina.
- Salerian, A. J. (2021) Apollo Flights and the Hazards of Radiation, *Journal of Physical Medicine Rehabilitation & Disabilities*, vol. 7, iss.1, 100061.
- Samoilov, A. S., Ushakov, I. B., and Shurshakov, V. A. (2019) Radiatsionnoe vozdeistvie v orbital'nykh i mezhplanetnykh kosmicheskikh poletakh: monitoring i zashchita [Radiation Exposure in Orbital and Interplanetary Space Flights: Monitoring and Protection], *Ekologiya cheloveka*, vol. 26, no. 1, pp. 4–9.
- Schlesinger, T. P., Rodriguez, B. R., and Borrego, M. A. (2013) *International Space Station Crew Quarters On-Orbit Performance and Sustaining*, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20130011142/downloads/20130011142.pdf>.
- Shurshakov, V. Kak na kosmonavtov vliiaet radiatsiia? [How Does Radiation Affect Astronauts?], <https://postnauka.ru/faq/74777>.
- Sineva, M. (2019) Pochemu na Marse mozjno pobyyat' tol'ko raz v zhizni [Why You Can Only Visit Mars Once in a Lifetime], <https://tass.ru/kosmos/6761162/amp>.
- Trukhanov, K. A. (2006) *Radiatsionnaya i elektromagnitnaya bezopasnost' dlitel'nykh i dal'nikh pilotiruemykh kosmicheskikh poletov: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Radiation and Electromagnetic Safety in Manned Long-Term Deep Space Flights. Thesis for the Doctor of Technical Sciences Degree]*. Moskva.
- Trukhanov, K. A., Riabova, T. Ia., and Morozov, D. Kh. (1970) *Aktivnaya zashchita kosmicheskikh korabelei [Active Protection of Spacecraft]*. Moskva: Atomizdat.
- Uchenye ob"iavili voinu kosmicheskoi radiatsii [Scientists Declare War on Space Radiation], https://mipt.ru/newsblog/lenta/uchyeny_e_obyavili_voynu_kosmicheskoy_radiatsii.

- Ushakov, I. B. (2021) *Kosmos. Radiatsiia. Chelovek (Radiatsionnyi bar'er v mezhplanetnykh poletakh)* [Space. Radiation. Man (Radiation Barrier in Interplanetary Flights)]. Moskva: Nauchnaia kniga.
- Ushakov, I. B., and Vasin, M. V. (2019) Farmakologicheskaia zashchita v dal'nem kosmose: sovremennyi vzgliad [Pharmacological Protection in Deep Space: A Modern View], *Radiatsionnaia biologiiia. Radioekologiiia*, vol. 59, no. 2, pp. 150–160.
- Van Allen, J. A. (1959) Radiation Belt around the Earth, *Scientific American*, vol. 200, no. 3, pp. 39–47.
- Vneshnii radiatsionnyi poias Zemli [Outer Radiation Belt of the Earth] (1968), in: Koniushaia, Iu. P. (ed.) *Otkrytiia v SSSR 1957–1967. Sbornik kratkikh opisaniia otkrytii, vnesennykh v Gosudarstvennyi reestr SSSR* [Discoveries in the USSR in 1957–1967. A Collection of Short Descriptions of Discoveries Included in the USSR State Register]. Moskva: TsNIPI, pp. 14–16.

Received: July 31, 2023.

Accepted: December 24, 2024.